

УДК 677.017

DOI 10.47367/0021-3497_2024_2_133

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ВОДОУПОРНОСТИ
СУКОННОЙ ТКАНИ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ**

**TECHNOLOGY FOR INCREASING THE WATER RESISTANCE
OF CLOTH FABRIC FOR WORKWEAR**

Р.Ф. ГАЙНУТДИНОВ, В.В. ХАММАТОВА

R.F. GAINUTDINOV, V.V. KHAMMATOVA

(Казанский национальный исследовательский технологический университет)

(Kazan National Research Technological University)

E-mail: elm.kzn@mail.ru

В статье представлены результаты научного исследования, ориентированного на решение проблем повышения водоупорности суконных материалов для специальной одежды. Цель работы заключалась в разработке отде-

лочной технологии пропитки суконных материалов, которые позволят повысить водоупорность опытных образцов спецодежды за счет пропитки силиконом на основе кремнийорганических соединений вследствие их универсальности и высокой эффективности, а также последующего закрепления потоком неравновесной низкотемпературной плазмы пониженного давления. Объектом исследования выбрана ткань для спецодежды с содержанием шерстяного и синтетического полиэфирного волокна. Для экспериментальных исследований водоупорности контрольных и модифицированных образцов использовали пенетрометр МТ-158 ООО «Метротекс». Технологию модификации тканей для спецодежды проводили электрофизическим методом обработки с применением потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления на уникальной полупромышленной плазменной установке периодического действия «ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3» на базе Центра коллективного пользования «Наноматериалы и нанотехнологии» КНИТУ. Полученные модифицированные суконные ткани для специальной одежды повысили водоупорность на 43,4%, и краевой угол смачивания составил $< 90^\circ$, при этом стойкость к агрессивной среде (нефти) составила $\geq 92\%$ относительно контрольных образцов. Исследуемый материал «сукно шинельное 2С-40П» имеет максимальные гидрофобные показатели при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=23\dots26$ Па, времени воздействия $\tau=1$ м/мин, мощности разряда $W_p = 4,0$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{возд} = 0,04$ г/с.

The article presents the results of a scientific study aimed at solving the problems of increasing the water resistance of cloth materials for special clothing. The purpose of the work was to develop a finishing technology for impregnating cloth materials that will increase the water resistance of workwear prototypes by impregnating silicone based on organosilicon compounds, due to their versatility and high efficiency, as well as subsequent fixation by a flow of nonequilibrium low-temperature plasma of reduced pressure. The object of the study is a fabric for workwear containing wool and synthetic polyester fibers. For experimental studies of the water resistance of control and modified samples, the MT-158 penetrometer of «Metrotex».

The technology of fabric modification for workwear was carried out by an electrophysical processing method using a flow of nonequilibrium low-temperature low-pressure plasma (NNTP) on a unique semi-industrial plasma installation of periodic action «WATT 4000 PT PLASMA 3» on the basis of the Center for Collective Use «Nanomaterials and Nanotechnology» KNTU. The resulting modified cloth fabrics for special clothing increased water resistance by 43.4% and the wetting angle was $< 90^\circ$, while resistance to aggressive media (oil) was $\geq 92\%$, relative to control samples. The studied material «Overcoat cloth 2C-40P», reaches the maximum hydrophobic performance with the following parameters of the effect of the low-pressure NNTP flow: operating pressure in the vacuum chamber $P_k=23\dots26$ Pa, exposure time $\tau= 1$ m/min, discharge power $W_p = 4,0$ kW and plasma-forming gas consumption $G_{air} = 0,04$ g/s.

Ключевые слова: сукно, неравновесная низкотемпературная плазма, водоупорность, модифицирование, ткани для специальной одежды, водоупорная пропитка.

Keywords: cloth, non-equilibrium low-temperature plasma, water resistance, modification, fabrics for special clothing, waterproof impregnation.

Многие виды рабочей одежды требуют защиты от жидкостей – и обычных осадков, и более агрессивных сред, таких как нефтепродукты и кислоты. Рабочая одежда из сукна должна быть водоупорной, и для достижения требуемого эффекта необходимо нанести соответствующее маслородоотталкивающее (МВО) покрытие. Повышение водоупорности суконных материалов для одежды специального назначения является сложной задачей, решение которой требует применения нанотехнологий, связанных с воздействием потока неравновесной низкотемпературной плазмы (ННТП) пониженного давления для улучшения их гидрофобных свойств. Грубая толстая шерстяная ткань используется для пошива плотной спецодежды (костюмы для нефтяников, специалистов химической промышленности), которая подвергается в процессе ее эксплуатации воздействию воды и нефти, а также многочисленным промышленным стиркам. Поэтому качественная специальная одежда из сукна должна полностью выдерживать внешние нагрузки, материал не должен терять первоначальных характеристик после многочисленных промышленных стирок, должен обладать повышенной водоупорностью для защиты от внешних воздействий окружающей среды и агрессивных сред, а также соответствовать требованиям безопасности труда ГОСТ Р ЕН 340-210 (ЕН 340:2003).

Специальная защитная одежда для работников химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности должна обеспечивать высокую химическую стойкость, защиту от агрессивных сред и водонепроницаемость. Свойства текстильного материала, из которого изготовлена защитная одежда, играют важную роль в удовлетворении этих сложных требований [1].

Гидрофобные характеристики любой специальной одежды в основном зависят от используемых материалов [2]. При разработке специальной одежды используются

текстильные материалы, состоящие из химических, смешанных (химических и натуральных) волокон (пряжи), а также водо- и кислотоотталкивающих пропитанных натуральных волокон. Материалы защитной спецодежды не должны разлагаться, впитывать или пропускать кислоты, щелочи или масла на обратную сторону [3]. Специальная одежда должна отличаться хорошими показателями водоупорности и стойкости к агрессивным средам, то есть быть практичной при эксплуатации [4].

Сильно уваленная ткань шерсти, имеющая войлокообразный застил, не всегда может обеспечить необходимые защитные свойства специальной одежды, поэтому для производства гидрофобных шерстяных полотен используются различные химические и электрофизические методы модификации [5...8].

Одним из основных направлений повышения масло- и водостойкости одежды специального назначения является использование силиконовых пропиток на основе кремнийорганических соединений (кремния и углерода), что обусловлено их универсальностью и высокой эффективностью. Принцип действия гидрофобных жидкостей заключается в том, что гидрофобные вещества проникают вглубь обрабатываемого материала с помощью носителя (воды или растворителя) и поликонденсируются, образуя водоотталкивающий слой, который защищает текстильный материал от проникновения влаги, масел и нефти.

В данной работе приведены результаты исследований влияния потока ННТП пониженного давления на гидрофобные свойства текстильных материалов для специальной одежды.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбран суконный материал, применяемый для изготовления защитных швейных изделий специального назначения, характеристики которого представлены в табл. 1.

Наименование ткани	Арти-кул	Состав волокон, %		Вес, г/м ²	Переплетение	Пропитка
		шерсть	полиэфир			
Сукно шинельное 2С-4ОП	6425	87	13	760	Полотняное	Масловодоотталкивающая (МВО)

Гидрофобные свойства суконной ткани придавали путем нанесения на поверхность волокна тонкого слоя несмачиваемого пропиточного материала на основе кремнийорганических соединений с низким коэффициентом поверхностного натяжения и закрепления его на этой поверхности с использованием потока ННТП пониженного давления на уникальной полупромышленной плазменной установке периодического действия «ВАТТ 4000 ПТ ПЛАЗМА 3».

Покрывание представляло собой тонкую кремнийорганическую пленку, которая обволакивала поверхность пряжи, но не закрывала промежутки между волокнами, позволяя ткани оставаться воздухопроницаемой. В качестве пропиточного материала использовалась кремнийорганическая полимерная композиция, которую наносили на ткань и давали высохнуть. Заключительным этапом процесса пропитки являлось модифицирование материала с помощью потока ННТП пониженного давления между двумя ВЧ-электродами в условиях вакуумной камеры. В камере создавалось пониженное давление, и обработка проводилась в потоке ННТП при температуре не выше 60...80°C в сети переменного тока с напряжением 380/220 В ± 5% и частотой 50 Гц. В качестве плазмообразующего газа использовали воздух [9].

Обработка опытных образцов суконных тканей осуществлялась при варьировании входных параметров плазменной установки, к которым относятся: мощность разряда (W_p) от 1,5 до 4,5 кВт, расход плазмообразующего газа (G) от 0 до 0,08 г/с, давление в вакуумной камере (P_k) от 13 до 53 Па и время обработки (τ) от 1 до 3 м/мин, мощность, потребляемая установкой ($P_{потр.}$), от 1,0 до 5,0 кВт.

После отделочных операций технологического процесса, в том числе пропитки с целью придания тканям определенных МВО

свойств (табл. 1), проводилось последующее плазменное закрепление водоупорной пропитки на сукне с содержанием шерстяных волокон для уменьшения диаметра и количества мелких пор.

Сведения о водоупорности опытных образцов спецодежды из разрабатываемых материалов подлежали проверке. Для этого осуществлялась оценка их качественных характеристик после модифицирования в потоке ННТП пониженного давления, в процессе которой определялся уровень сохранения гидрофобных свойств опытных образцов спецодежды из разрабатываемых материалов.

Определение водоупорности контрольных и модифицированных опытных образцов суконных тканей проводилось на приборе Пенетрометр МТ-158 согласно ГОСТ 3816-81. Изменение водоупорности ΔB_y в результате обработки потоком ННТП пониженного давления оценивалось по формуле:

$$\Delta B_y = \frac{B_{y0} - B_{y.XII}}{B_{y0}} \times 100\% , \quad (1)$$

где B_{y0} – водоупорность контрольных образцов до плазменной обработки в потоке ННТП пониженного давления, кПа; $B_{y.XII}$ – водоупорность образцов после обработки в потоке ННТП пониженного давления, кПа.

Оценка показателя проницаемости проводилась путем измерения впитываемости капли химически агрессивной среды (нефти) контактным методом. Ткань помещали таким образом, чтобы не осуществлялся контакт с любой другой поверхностью, наносили каплю химически агрессивной среды из пипетки и затем измеряли диаметр капли [10].

Стойкость к агрессивной среде (нефти) C_i оценивалась по величине изменения разрывной нагрузки образцов в результате воз-

действия на них агрессивных сред согласно ГОСТ 12.4.220-2002 по формуле:

$$Ci = \frac{P_{H1}}{P_{H0}} \times 100\% , \quad (2)$$

где P_{H0} – значение показателя разрывной нагрузки до воздействия агрессивной среды; P_{H1} – значение показателя разрывной на-

грузки после воздействия агрессивной среды; i – условный индекс, присваиваемый данному физико-механическому показателю.

Максимальную нагрузку при растяжении опытных контрольных и модифицированных образцов суконных тканей для одежды специального назначения определяли на разрывной машине МТ110-5.

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Мощность разряда W_p , кВт	Водоупорность, кПа, при давлении в вакуумной камере P_k , Па			
	$P_k = 20$	$P_k = 23$	$P_k = 26$	$P_k = 29$
2,5	2,70	3,00	3,00	2,85
3,0	2,80	3,05	3,05	2,90
3,5	3,00	3,10	3,10	3,00
4,0	3,05	3,15	3,15	3,05
4,5	3,20	3,30	3,30	3,10
5,0	3,10	3,20	3,20	3,00
Контрольный образец	2,30			

В результате проведенных исследований (табл. 2) установлено, что после водоупорной пропитки и модифицирования ННТП водоупорность всех экспериментальных образцов материалов возросла на 43,4% относительно контрольных образцов (не прошедших ННТП обработку).

На рис. 1 представлены фотографии формы капель воды на поверхности текстильного материала «сукно шинельное, крашенное серое 2С-4ПО» (87% шерсть, 13% полиэфир) поверхностной плотностью 720 ± 40 г/м².

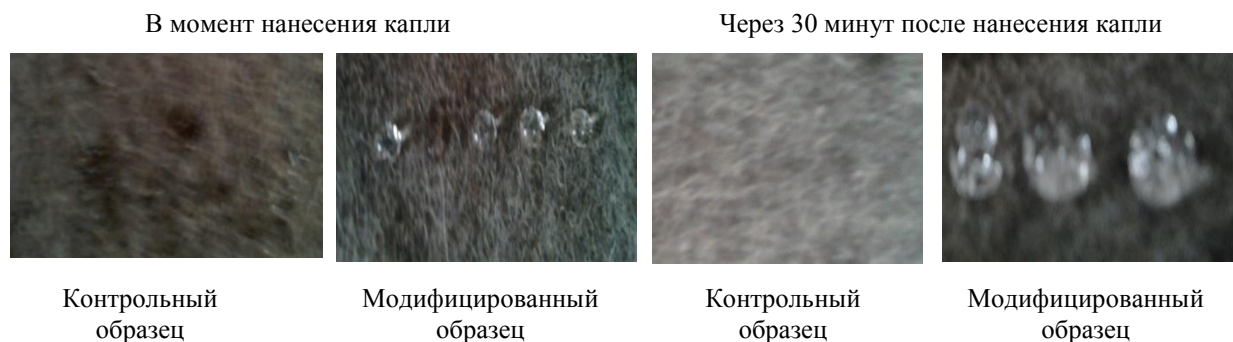


Рис. 1

На рис. 1 наглядно представлено влияние ННТП на форму капель воды, нанесенных на лицевую поверхность текстильного материала с водоотталкивающей пропиткой, как в момент нанесения, так и через 30

минут после нанесения. Капли воды на поверхности контрольных образцов тканей из шерсти растекаются по поверхности сразу в момент нанесения. Через 30 минут капля воды начинает растекаться на поверхности

образцов модифицированной ткани (краевой угол смачивания равен 90°).

Результаты исследований проницаемости агрессивной среды (нефти) на модифицированной суконной ткани для специальной одежды после воздействия потока ННТП пониженного давления представлены на рис. 1 и 2.

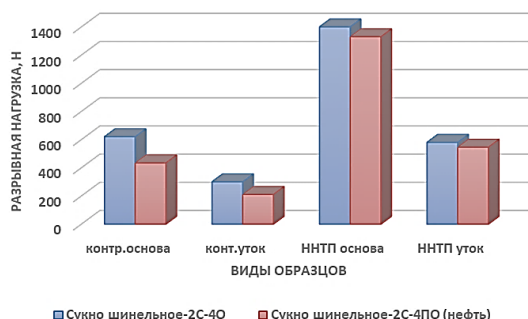


Рис. 2

На рис. 2 представлены диаграммы изменения разрывной нагрузки (по основе и утку) после воздействия агрессивной среды (нефти) на изготовленные контрольные и модифицированные образцы разрабатываемых материалов «сукно шинельное 2С-4ОП». Параметры модифицирования: $P_k=23\dots26$ Па; $W_p=4,0$ кВт; $\tau=1$ м/мин; $G_{\text{возд}}=0,04$ г/с.

Исследования категории стойкости образцов текстильных материалов для специальной одежды «сукно шинельное 2С-4ОП» с МВО пропиткой после воздействия агрессивной среды (нефти) показали, что разрывная нагрузка контрольных образцов составила $\leq 75\%$ как по основе, так и по утку, что относится к категории «ограниченно стойкого» материала для спецодежды, который можно использовать только для средств индивидуальной защиты в условиях возможного кратковременного контакта с данной агрессивной средой с последующей быстрой очисткой (рис. 2). При этом в модифицированных образцах разрывная нагрузка после воздействия агрессивной среды (нефти) оказалась $\geq 92\%$ относительно контрольных образцов, что относит их к категории «стойкие» и позволяет применять в спецодежде, предназначенной для работы в условиях постоянного воздействия данной агрессивной среды.

На основе полученных результатов исследований опытных образцов и анализа табл. 1 и рис. 1, 2 установлено, что гидрофобные свойства образцов текстильного материала «сукно шинельное крашеное серое 2С-4ПО» с МВО отделкой максимально увеличиваются при определенном режиме модифицирования ткани: $P_k=23\dots26$ Па, $W_p=4,0$ кВт, $\tau=1$ м/мин; $G_{\text{возд}}=0,04$ г/с. Данное сукно одновременно обладает повышенной водоупорностью и стойкостью к внешним воздействиям и агрессивной среде (нефти).

ВЫВОДЫ

Полученные опытные образцы суконных материалов для спецодежды соответствуют требованиям безопасности средств индивидуальной защиты, обладают повышенной водоупорностью и стойкостью к агрессивной среде (нефти). Применение метода модифицирования потоком ННТП пониженного давления обеспечивает повышение водоупорности на $43,4\%$ и стойкости к агрессивной среде на 92% . Полученные образцы материала «сукно шинельное крашеное серое 2С-4ПО» с МВО отделкой относятся к категории «стойкого» материала, который можно применять в спецодежде, предназначенной для работы в условиях постоянного воздействия агрессивной среды (нефти).

При этом материал «сукно шинельное 2С-4ПО» имеет максимальные гидрофобные показатели при следующих параметрах воздействия потока ННТП пониженного давления: рабочем давлении в вакуумной камере $P_k=23\dots26$ Па, времени воздействия $\tau=1$ м/мин, мощности разряда $W_p=4,0$ кВт и расходе плазмообразующего газа $G_{\text{возд}}=0,04$ г/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сафронова И.А. Спецодежда и спецобувь для работников химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1984. 176 с.
2. Соколов Л.А. Российский рынок тканей для спецодежды. Стратегические перспективы одежды // Научный вестник КГТУ. Электронный журнал. 2005. № 2(12). С. 109...112.

3. Припеченкова И.С., Метелева О.В., Веселов В.В. Проектирование тканей для водозащитной одежды // Известия вузов. Технология текст. промышленности. 1999. № 3. С. 86 ...91.

4. Хамматова В.В., Разумеев К.Э. Повышение стойкости материалов к агрессивным средам, применяемых для спецодежды // Вестник технологического университета. 2017. Т.20. № 7. С. 88...90.

5. Пат. 2490377 РФ. Способ обработки шерстяного волокна.

6. Ясинская Н.Н., Соколов Л.Е. Биотехнологический способ отделки суконных тканей // Вестник Витебского государственного технологического университета. 2013. № 24. С. 122.

7. Соколов Л.Е., Ясинская Н.Н. Умягчающая отделка суконных тканей // Современные технологии и оборудование текстильной промышленности: сб. тез. Междунар. науч.-техн. конф. (Текстиль-2012). М., 2012.

8. Хамматова Э.А. Повышение эксплуатационных свойств готовых изделий одежды специального назначения на основе применения модифицированных текстильных материалов // Известия вузов. Технология текст. промышленности. 2020. № 5 (389). С. 74 ...79.

9. Гайнутдинов Р.Ф., Хамматова В.В. Повышение качества суконной ткани для спецодежды после наноструктурирования плазмой // Известия вузов. Технология текст. промышленности. 2022. № 4 (400). С. 69 ...76.

10. Баранова О.А., Хижняк С.Д., Пахомов П.М. Супрамолекулярный гидрогель на основе L-цистеина и наночастиц серебра // Журнал структурной химии. 2014. Т. 55, №1. С. 174 ... 180.

REFERENCES

1. Safronova I.A. Overalls and safety shoes for workers of the chemical, oil refining and petrochemical industries. M.: Khimiya, 1984. 176 p.

2. Sokolov L.A. The Russian market of fabrics for workwear. Strategic perspectives of clothing // Scientific bulletin of KSTU. Electronic magazine. 2005. № 2(12). P. 109 ...112.

3. Pripechenkova, I.S., Meteleva O.V., Veselov V.V. Designing fabrics for waterproof clothing // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 1999. No. 3. P. 86...91.

4. Khammatova V.V., Razumaev K.E. Increasing the resistance of materials to aggressive environments used for workwear // Bulletin of the Technological University. 2017. Vol. 20. No. 7. P. 88...90.

5. Pat. 2490377 Russian Federation. The method of processing wool fiber.

6. Yamsinskaya N.N., Sokolov L.E. Biotechnological method of finishing cloth fabrics // Bulletin of the Vitebsk State Technological University. 2013. No. 24. P. 122.

7. Sokolov L.E., Yamsinskaya N.N. Softening finishing of cloth fabrics // Modern technologies and equipment of the textile industry: collection of abstracts of the International Scientific and Technical Conference (Textile-2012). Moscow, 2012.

8. Khammatova E.A. Improving the performance properties of finished products of special purpose clothing based on the use of modified textile materials // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2020. № 5 (389). P. 74...79.

9. Gainutdinov R.F., Khammatova E.A. Improving the quality of cloth fabric for workwear after plasma nanostructuring // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. 2022. № 4 (400). P. 69 ...76.

10. Baranova O.A., Khizhnyak S.D., Pakhomov P.M. Supramolecular hydrogel based on L-cysteine and silver nanoparticles // Journal of Structural Chemistry. 2014. Vol. 55, No. 1. P. 174 ... 180.

Рекомендована кафедрой дизайна КНИТУ. Поступила 26.02.24.